天界

(第六卷)　第六十四號　大正十五年五月

宇宙の構造に就て (五)

瑞典ルンド天文臺長　C. V. L. シヤリエー

第四講

定常星辰系

吾人は第二講及び第三講に於て、吾々に近い距離にある星辰系、卽ち銀河系に關する硏究は、今日の所では未だ完全な結果に到達して居ない事を述べた。然しながら、此の方面の硏究は着々健實に進涉して居るので、今後數十年をたたずして眞理は啓發されるであらう。我々は今茲に吾が銀河系の外側にある未知の星辰系に就て、如何に考へる事が出來るかを假りに論じて見たいこ思ふ。

第一講に於て、宇宙の構造に關する智識はこれを自然法則の助けを借りて擴める事が出來る事を論じて置いた。特にこれは、星辰系の未來、卽ち無限に永い後の狀態に就いて論ずるに都合が好い。然らば、星辰界の結局の運命をトする事が出來るか。かくの如くして星辰系の星の分布は次第に定常の狀態に近づきつゝあるものであるか?。

此事は直接、星辰力學によつて證明する事は出來ない。けれごも公算の理論から——もつこ詳しく言へば、重學統計の方法によつて『然り』こ答へる事が出來る樣に思はれるのである。此の公算の法則は、實際すべての自然界を支配し無機的世界も、有機的世界も、亦物理學的の世界も精神的世界も皆此の法則に從つて居るのである。

此の公算の法則は1708年にヤコブ、ベルヌーリ(Jacob Bernoulli)が其の著書 Ars conjectandi に發表した。勿論その形が今日のものよりも簡單であつた事は言ふ迄もない。

此のベルヌーリの法則卽大數の法則(law of great numbers)は、簡單に書けば次の如き形になる。

<u>各個の事件のうちの或一つの現出は各瞬間に最も公算率の大なる事件が起るこ言ふやうな工合に起るものである。</u>

此の法則を實際の場合に應用して見るこ、此は嚴密に、眞でないこ言ふ事を發見するであらう。必ず或一方の方向か又其の反對の方向にそれるのが普通で

ある。且つ又、此の大數の法則は單に、現出は其の平均に於て眞であると言ふ事を豫言するものなる事もほんとうである。故に嚴密に言へば、次の如く書く方が好い。卽ち

各個の事件の或一つの現出は、最も公算率の大であると證明する事の出來る狀態に漸近的に近づくものである。

此の大數の法則はベルヌーリが其の書 Ars conjectandi に於ける研究に直接に基いたものではない。ベルヌーリの場合には問題は特種の場合に限られて居るからである。此の問題に關するものと一般的な考察はラプラス(Laplace)が其書 Traité analytique des Probabilités に於てなして居る(1812年)。ラプラスは次の假設から出發して居る。卽ち

自然界に於ける物のすべての屬性は無限に澤山の小影響(卽誤差)の總和の結果と考へる事が出來る。

ラプラスは彼の天才的解析の力に依つて、各々の性質を知る事なしに、如何にして此等無限澤山の小影響の和を數學的に表はす事が出來るかを證した。私は又私自身で1907年に此のラプラスの解析を展開し、一般的には此の和の二つの方式がある事を發見し、これをA型及B型の頻繁函數と名付けて置いた。

私は此の法則を小影響(誤差)の法則と名付けやう。

空氣——此の小影響の法則の意味を說明する爲めに私は二つの全く相反する性質を有するものに應用しやうと思ふ。卽ち一つは非常に小さな物體(卽瓦斯)及び非常に大きな物體(卽星)に應用するのである。先づ第一に非常に小さな物體(卽無限に小さな物體に應用する。そして此の小さな物體の場合には無限に澤山な小影響の和は極く短いか時間卽ち吾人の見て居る前で行なはれると言ふ便宜があるのである。吾人は吾人の結論の眞否を物理學の實驗をなすと同じやうな方法で確しかめる事が出來るのである。

今部屋の中にある空氣を考へて見やう。玆に諸君が空氣と呼ぶ所の或物が有る。諸君は此れを見る事は出來ない。又感ずる事も出來ない。けれども諸君は空氣が存在する事を知つて居る。それは何故か。それは其の空氣の屬性によつて此れを知るからである。諸君は空氣が温度を有する事を知つて居る。又空氣が重さを有つて居る事を知つて居る。又或條件の下では、例へば窓を開くとか何とかすれば空氣が動いて居ると言ふ事を知る。此等は皆な空氣の屬性である。物理學者は、空氣は數億の微粒子から成立つて居る事を諸君に敎へる。而も非常に大きな速度をもつて、それ等の微粒子は動いて居るのである。一立方糎の中に空氣の分子は30兆もあり其の速度は一秒に約一粁もある。

分子の速度は一つ一つでは皆異なつて居る。各分子の速度と平均速度との違いの平均は物理學で言ふ空氣の温度と呼ぶ所のものと同じくなるのである。

扨て今一つの器の中に一リットルの空氣が入つて居るとし、又しばらく始め

の瞬間にはすべての分子は靜止して居るものとしやう。所で今同じ種類の分子で、非常に大きな速度で動いて居る他の分子が入つて來たとする。然る時は如何なる事が起るであらうか。扨て此の新參の分子は非常な速度で始めに靜止して居た群集の中に飛び込んで來る。所が分子の數は非常に多いけれども、分子の大さは非常に小さいから、分子と分子の間にはたくさんの餘地がある。けれども此の飛び込んで來た分子が或分子に接近すると、其の相互の引力によつてそのものを又運動に引ぱり込むに到る。かくして新參者はその速度の一部を分ち與へる事になる。

かくして今や二つの分子が動いて居る事になつたわけで此等の二つの分子が、今度は又其他の分子に同樣な舞踏を宣傳する事になり、かくの如くして、次から次に各分子は運動狀態になり。やがて器內のすべての分子は皆あらゆる動き得る方向に運動を始める事になるのである。此等の速度の違ひが空氣の温度を與へるものとなる。

各々の分子の結局の速度は、明らかに、その分子が器內のすべての他の分子の附近を通過する時に受ける『小影響』を總和する事によつて得られる。此の速度の小影響の法則に從ふ分布は今日マツクスウエルの法則と呼ばれて居る所の者である。英國の大物理學者マツクスウエルが此の法則がすべての瓦斯について成立する事を始めて證明したからである。マツクスウエルの法則は次の事を言ひ現らはして居る。卽ち、瓦斯內の分子はあらゆる方向に常に等しい數だけ動いて居り、すべての方向に於ける速度の違ひは皆等しい、分布の曲線はすべての分速度についても同じ分布を有するやうなノルマルな曲線である。此の場合に於ては吾人は比較的短時間に運動の定常狀態に達する。或は物理學的に言ふならば、短い時間に器內の温度が定常的になるのである。

以上吾人は單に空氣の一つの屬性卽ち速度に就いて論じて來た。もつとくわしく言へば三つの互に直角なる軸の方向への分速度について言つた。けれども吾人はこの他なほ多くの屬性例へば分子の位置とか各點に於ける密度とか言ふやうなものに就いても論ずる事が出來る。然らば器の內で分子は如何なる分布にあるか？

茲で吾人は前の場合に考へなかつた小影響の他の原因を考へなければならない。卽ち地球が他の分子に及ぼす引力卽ち之である。此の引力は勿論分子の速度の分布には何等の影響も及ぼさない。けれども密度の分布に非常にきいて來るのである。

此の點に關して卽ち密度に關しても定常な狀態はすぐに得られる。すべての分子は地球によつて引かれる。たがら素人は一寸考へてすべての分子はみな器の底に沈下して仕舞ふだらうと思ふかも知れない。けれども實際はそうでなくて、すべての分子は皆永久に自由に浮游して居るのである。勿論これ等の分子

は地球の引力を受けて、下向きの運動の場合には加速度をともなひ上向の運動の場合には減速度を供ふ。然しそれはその分子がその隣にある分子にぶつつるか迄で、ぶつつかれば多少方向をかえる。故にこれ等が底まで達するには何べんもより下りし曲りくねつた道を通らねばならぬ。

定常の狀態と言ふのは各々の高さに於ける分子の數が常に一定であると言ふ事である。これは密度が底から上に行くにしたがつて數學的に決定せられた法則に從つて漸少する。これを等溫平衡の法則と呼ぶ。すべての高さで溫度が等しい場合卽ち速度の分布がすべての高さに於て等しいからである。此の平衡狀態は地球の引力によつて起る小影響によつて若し次の如き方法で此等の小影響を總和するならば得られる。卽ち高い層から低い層に落ちて行く分子の數が下の方の密な場所から高い方の疎な場所に飛び上つて來る分子と丁度と打消し合ふやうな風にしてゞある。

星——扨て吾人は非常に小さなものから非常に大きなものに移らう。卽ち分子の場合から星の場合に。

或點に關しては此の兩者の間には何等の違ひもない事は明らかである。若し分子と分子との間に作用する力が星と星の間に作用する力と同じ種類のものであるならば、一立方糎の體積の中にある瓦斯分子の運動を論ずるのも、又非常に廣い空間の或立方體の部內に於ける多くの星の運動を論ずるものも全く同じ事である。少くとも同じやうな性質のものである。たゞ長さ及時間の單位が違えねばならぬ丈けの話しである。

此の場合に於ても亦、小影響の法則は成立する。卽ちすべての結果は、無限に小さな影響卽ち誤差の無限に澤山を加へ合せる事によつて得られる。然らば此の場合に於ても長い長い時間の後には平衡狀態に達する事が可能であらうか卽ち速度における定常の狀態と星の分布に於ける定常の狀態が達せられ得るであらうか。此の答は吾人が直接に其の正しきを言ふ事が出來ない限り、單に推測するより他仕方がない。瓦斯分子の集團は數分乃至數時間で定常狀態に達する。星の集團は實際數學的に計算して見ると數十億年よりも短かい時間では定常の狀態には達し得ないのである。

然しながら、此の豫言の眞否を試す他の方法がある。よし星々が其の始めの混沌たる狀態から最後の平衡の狀態まで達するに、數十億年を要するにしても吾々は次の如く信ずる事が出來るのである。卽ち、肉眼で見える星や、又望遠鏡で見える星や、又其他寫眞裝置で寫す事の出來るすべての星辰系のうちにはたしかに、よしんば平衡の狀態に達して居なくても、その最後の狀態に非常に近くなつて居るものや又其の途上にあるものゝ多くが存在すると。吾々の銀河系の如きも多分かゝる途上にあるもので、平衡の狀態に達するまであまり遠く

はないものと考へられる。ハーシエル卿がはじめ吾々に知らせて與れた色々な天體のうちには、おそらく理論で豫言する事の出來る、走常狀態に非常に近くまで進んで居る數百數千の天體を發見する可能性があると思ふ。

然しながら星の場合の定常の狀態を論ずるのは。瓦斯の分子の場合よりも遙かに困難である。此の困難は定常な狀態に達するまでに要する時間の違いではない。實際此の時間の問題は、かゝる問題に於ては餘り重要なものではない。困難はむしろ星と星の間に作用する力を決定する事にある。

星の集團を考へれば、其の集團のいづれの星も嚴密に言へばみな他のすべての星から多少の力を受けて居る。故に嚴密に一つ一つの星の運動を研究するには他のすべての星々の各が働かせる引力を考へに入れねばならない。然しかくの如き問題は、無限に長い時間の間について解答を得るには、星の數がたつた三つの場合でも全く出來ないのである。從つて星の數が無限に多いやうな場合には全く學問の範圍外に屬すると言つてよい。

故に問題を解くには、玆に何か簡單にするやうな假定を設けねばならない。その假定と言ふのは次のやうなものである。卽ち、各々の星の運動は常に次の二つの力によつて支配されて居るとする。その二つの力と言ふのは、(1) 最も近くにある星の引力及 (2) 其他すべての星の集團の引力卽ち之れである。此の第二の引力はすべての星が例へば固體とか液體とか、或は氣體と言ふやうな風に連續的な物體を形造つて居り、其の各點の密度はその附近に於ける星の數に比例するものとして算出する事が出來る。實際力學に於ける同樣な問題の研究から此の簡單法は吾々の問題に充分に正確な解答を與えると信ずる事が出來る。

此の簡單法から出發して、玆に解く可き問題は次の如くなる。卽ち——

星の集團內の各點に於ける星の密度及星の速度の分布を決定し得るや。而も此の分布は時の如何を問はず常に變らざるものとす。

若しかくの如き分布が可能であればかゝる星系は、定常星系と言ふのである玆では此の方法に關して單に暗示を與えるにとゞめて置く。

上に與えた假定は特種な方程式を生ぜしめる。卽ち第二の假定は、普通の力學で良く知られて居るポアツソンの方程式に導き第一の假定は第二の假定と相俟つてボルツマンによつて始めて與えられた式を導き出す。此の式は瓦斯論に於て非常に重要なものである。

これ等の二つの方程式を數學的に研究すると次の結論に到達する。卽ち

一般的に言へば、定常の條件を滿足するやうな星辰系の形は二種しか存在しない。然しながら、その各が又其の星の集團內に於ける星の密度の異なる種々の種類にわかれる。此等の形は次の如くである。

第一　或一定點からあらゆる方向に星の數が皆等しい場合

第二　すべての星が一定平面内に在り此の平面内の定點から其平面内のすべての方向に等しい場合

第一の場合を球的解答こ名づけ、第二の場合を圓盤的解答こ言ふ。そしてあらゆる方向に星の數が一定になつて居るやうな一定點を、星辰系の中心こ名づける。

いづれの場合に於ても星の密度は中心からの距離によつて變つて來る。球的解答の場合には、此の密度の法則はある微分方程式を滿足せねばならない。然し圓盤的解答の場合には密度の法則は任意に、之を選んで好いやうである。卽ち圓盤內に於ける星の分布は、中心から遠ざかるに從つて漸次減少しても又漸次增大しても好く、又週期的に變つてもよい。從つて、密度の分布は中心のまわりに列んだ幾つかの輪のやうな形を取り得るのである。

かくの如き定常な星辰系が實際天文學的な觀測から知られて居るかごうか？

先づ大體球狀星辰系は球狀星團こして今日天文學者に知られて居る。或天文學者達は非常に細心な注意を以て此の球狀星團を檢査したのであるが、此等は皆な、先づ大體球形の定常な狀態であるこ考へる事が出來る。

又球狀の定常な狀態こしては星自身をかぞえる事が出來る。少くこも巨星特にK型M型等の赤色巨星はそうであらう。卽ちこれ等の星は隕石の無數の集團に外ならないからである。井ルソン山でマイケルソンの干涉計でなされた觀測の結果は此の說明に好く一致するやうである。

次に圓盤的の形については、近年リク天文臺から出版された綺麗な寫眞からこれを見る事が出來る。卽ち多くの星雲のうちには細長い光の線のやうな形をし中央部に小さな光のかたまりを有つて居るやうなものが澤山ある。これ等の多くは上にのべた光の强い中心をめぐる多くの環をもつて居るやうな圓形又は楕圓形のやうな外觀をして居るものが多い。私は思ふにおそらく此等は嚴密に定常ではないにしても、大體に定常になつて居るやうな圓盤的星辰系であらう。

かくの如き星雲は普通渦狀星雲こ呼んで居る。二つの枝を出して渦卷狀をなして居るからである。此の渦狀星雲を定常の星系こ見るのは吾々の假定こ矛盾するやうに思はれる。何こなれば、我々の考へた場合には何等渦狀性は起らぬからである。けれごも次の講義に於て、やはり此の渦狀星雲を定常の狀態に近づきつゝあるもの又は何か他から作用が働く場合の定常な狀態こ考へ事が出來る事を說明しやうこ思ふ。

吾々は以上星々が如何に散在して居るかを論じただけで未だ其の速度に就ては論及しなかつた。速度に就ても又定常の狀態は可能であり、星の定常な分布を支へる上からも必要なのである。此れに關して數學的に硏究して見るこ次の結果を得る。

球形の星系の場合には定常の狀態の條件として は、速度がマックスウエルの法則に從つて分布せられて居なければならぬ。即ち地球の表面上に於ける瓦斯の集團內に於ける其の分子に就て成立するのと同じ法則である。かくの如き法則が實際球狀星團內に存在するか否かは今日の所未だ判らない。

圓盤型の場合には、その結果は違つて來る。此の場合には速度表面はマックスウエルの法則の場合の如く球面ではなくつて中心からの導徑に直角な方向に其の最大軸を有するやうな橢圓體である。特別な場合として、圓盤が平面になつた場合卽其の厚がなくなつた場合には、此の橢圓體は橢圓となり其の短軸は中心の方向と一致し、長軸はこれに直角な方向を有する。

吾々の理論の正否をためすには吾々の星系卽銀河系を考へて見る事が出來る。銀河系が扁平な形をして居ると言ふ事は眞實らしい。勿論薄い平面的な圓盤ではないけれども、その狀態に近づきつゝあるものと考へる事が出來る。星の固有運動から、吾々の近所にある星々の速度の分布を知る事が出來る。斯くの如き檢査をして見ると其の速度表面は廻轉橢圓體に近い橢圓體になつて居り、其の最大軸は吾が星辰系卽ち銀河系の中心に到る直線に大體直角になつて居る。理論と實際の一致が完全でないのは、我々の星辰系が未だ定常な狀態に達して居ないと言ふ所から見て明らかである。

定常系の硏究は、例へば星雲と言ふ樣な大きなものにのみ限る必要はない。此の結果を吾人は非常に小さな例へば原子とか電子とか言ふやうな場合にも應用する事が出來る。然し今茲でそんな事を吟味するのは私の目的とする所ではない。

然し茲に星雲のやうな巨大なものと、原子電子のやうな微少なものとの丁度中間に位するものがある。これは充分考察に値するものであるが、これによつて吾が太陽系の起原を說明する事が出來るかも知れない。先づ吾が太陽系はその昔、小さな物體の集團であつたとし、それが次第に時が經るに從つて、各小物體が相互に近づく事による。その小影響が集積して次第にひらたくなり、遂に定常な圓盤形となつたとする。定常な狀態は太陽を中心として、その周圍に出きた多くの環から出來る。これが平衡の狀態である事は前に述べた。この形から、ラプラスの宇宙開闢論に於ける考へと同樣にして遊星が生じたのかも知れない。

勿論此の理論は太陽系全般に渡つて行はれて居ると考へる必要はないが、實際、土星の輪の如きは、純粹な形に於ける圓盤形と定常狀態の例として考へる事が出來るのである。

然らば、かくの如き定常な形が何故に、吾々が論じて居る宇宙の構造に要があるか？

天體のすべての形は無限に小さな影響の無限に多くの和の結果である。此等

の小影響の和は勿論すべての可能的な値を取る事が出來る。故に星辰系の形の數は無限に澤山あるこ考へられる。然しながら上に考へた、定常の形のみが、時間の如何に係らず常に定常的平衡に留まつて居るのである。そして他の如何なる形も時間こ共に變化し再びもこの狀態に還る事なく、一般に次第に定常な形に近づいて行くのである。その結果こして、定常な形が段々時間が經つに從つて、あらゆる存在し得る形のうちで一番澤山になつて來、故に星辰界に存在する多くの星辰系は定常な狀態のもの及それに近づいて來て居るものならざる可からずこ考へられる。卽ち球形及圓盤形或は少くこもそれに似寄つたものである。

實際の話が、觀測によつて發見するものは、そうである。卽ちすべての天空の對象、言ひすぎたこすれば殆んごすべての天體が皆なかくの如き形をして居るのである。勿論例外はある。けれごもその數は非常に少ない。そして、定常になつて居ない例外こして申す事も出來るし、或は、又以上の研究の及ばなかつた他の定常な形こして考へる事も出事るかも知れない。

定常型が非常に多數を占めて居る事は、宇宙間に行はれる一般的規則であつて、何も星辰界のものに限つたものではない。例へば生物界に於ても此の根本的規則が行はれて居るのを發見するのである。動物及植物のすべての種族は、嘗てはリンネが創造主によつてかく定められたものだこ信じたが、單に定常な形にすぎないのである。

最後に結論して言へば、自然界に於ける定常系は自然界の一般法則を數學的統計學の方法に依つて檢査する事によつて得られる事を見出したのである。

ラプラスの假說卽ち――自然界に於ける物のすべての屬性は小影響の無數の和の結果である――此の假說を應用すれば、吾人は次のやらな結論に到達するのである。卽ち曰く、個體々々の各々は最も大なる公算率を有する事を證明する事の出來る狀態に漸次的に近づくもなのり、こ

此の最も公算率の大なる狀態が定常の形こ一致するのである。星辰系の場合には一般的に言つて、すべての星辰系が漸次近付いて行く定常の形は二通りある。卽ち球形こ扁平圓盤形である。いづれの場合も密度の分布に就ては色々の可能な場合がある。

天文學者の觀測によれば、宇宙進化の此の二種の定常な形に近い多くの星辰系が存在するのである。

○會員消息　下記の兩氏は今般京都帝國大學理學部に於いて理學士試驗に及第された

竹田新一郎氏　（論文、彗星の物理研究）
能田　忠亮氏　（同　　渦狀星雲の研究）

又、次ぎの四氏は今般京都帝國大學に入學、天文學を專攻せられる筈。

荒木健児氏（六高出身岡山縣）山村清氏（大阪高校出身兵庫縣）稻葉通義氏（佐賀高校出身大分縣）森川光郎氏（二高出身兵庫縣）

○山本博士の出張　南滿鐵道會社の招きにより山本一淸博士は今夏七月に滿洲各地へ天文講演のため出張せられるこさに決した